

- 8 OCT. 2004



REC'D 18 JAN 2005

WIPO

PCT

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 01 SEP. 2004

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

DOCUMENT DE PRIORITÉ

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS
CONFORMÉMENT À LA
RÈGLE 17.1.a) OU b)

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint-Petersbourg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23
www.inpi.fr

BEST AVAILABLE COPY



26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

page 1/2

BR1

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 e W / 210502

REMISE DES PIÈCES DATE 06 OCT 2003 LIEU 75 INPI PARIS N° D'ENREGISTREMENT 0311681 NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI 06 OCT. 2003 Vos références pour ce dossier (facultatif) b 14367.3/ ALP DD2523VLH		1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE BREVATOME 3, rue du Docteur Lancereaux 75008 PARIS 422-5 S/002	
Confirmation d'un dépôt par télécopie <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie		2 NATURE DE LA DEMANDE Cochez l'une des 4 cases suivantes	
Demande de brevet <input checked="" type="checkbox"/>			
Demande de certificat d'utilité <input type="checkbox"/>			
Demande divisionnaire <input type="checkbox"/>			
Demande de brevet initiale ou demande de certificat d'utilité initiale		N°	Date
		N°	Date
Transformation d'une demande de brevet européen Demande de brevet initiale <input type="checkbox"/>		N°	Date
3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) MAGNETOMETRE A CIRCUIT MAGNETIQUE OUVERT ET SON PROCEDE DE REALISATION.			
4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
5 DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases)		<input checked="" type="checkbox"/> Personne morale <input type="checkbox"/> Personne physique	
Nom ou dénomination sociale		COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE	
Prénoms			
Forme juridique		Etablissement Public de Caractère Scientifique, Technique et Industriel	
N° SIREN			
Code APE-NAF			
Domicile ou siège	Rue	31-33, rue de la Fédération	
	Code postal et ville	75 015 21 PARIS 15ème	
	Pays	FRANCE	
Nationalité		française	
N° de téléphone (facultatif)		N° de télécopie (facultatif)	
Adresse électronique (facultatif)			
<input type="checkbox"/> S'il y a plus d'un demandeur, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»			

Remplir impérativement la 2^{ème} page



BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE
page 2/2

BR2

REMISE DES PIÈCES DATE 08 OCT 2003 LIEU 75 INPI PARIS N° D'ENREGISTREMENT 0311681 NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI	
---	--

DB 540 W / 210502

6 MANDATAIRE <i>(s'il y a lieu)</i>	
Nom	LEHU
Prénom	Jean
Cabinet ou Société	BREVATOME
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel	PG 7068
Adresse	Rue 3, rue du Docteur Lancereaux
	Code postal et ville 75 008 PARIS
	Pays FRANCE
N° de téléphone <i>(facultatif)</i>	01 53 83 94 00
N° de télécopie <i>(facultatif)</i>	01 45 63 83 33
Adresse électronique <i>(facultatif)</i>	brevets.patents@brevallex.com
7 INVENTEUR(S)	
Les inventeurs sont nécessairement des personnes physiques	
Les demandeurs et les inventeurs sont les mêmes personnes	<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non : Dans ce cas remplir le formulaire de Désignation d'inventeur(s)
8 RAPPORT DE RECHERCHE	
Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)	
Établissement immédiat ou établissement différé	<input checked="" type="checkbox"/> Établissement immédiat <input type="checkbox"/> Établissement différé
Palement échelonné de la redevance <i>(en deux versements)</i>	Uniquement pour les personnes physiques effectuant elles-mêmes leur propre dépôt <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES	
Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention <i>(joindre un avis de non-imposition)</i> <input type="checkbox"/> Obtenue antérieurement à ce dépôt pour cette invention <i>(joindre une copie de la décision d'admission à l'assistance gratuite ou indiquer sa référence)</i> : AG	
10 SÉQUENCES DE NUCLEOTIDES ET/OU D'ACIDES AMINÉS	
<input type="checkbox"/> Cochez la case si la description contient une liste de séquences	
Le support électronique de données est joint	<input type="checkbox"/>
La déclaration de conformité de la liste de séquences sur support papier avec le support électronique de données est jointe	<input type="checkbox"/>
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes	
11 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)	
J. LEHU	
VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI	
L. GONCHER	

MAGNETOMETRE A CIRCUIT MAGNETIQUE OUVERT ET SON PROCEDE DE REALISATION

DESCRIPTION

5 **DOMAINE TECHNIQUE**

La présente invention se rapporte au domaine des magnétomètres ou capteurs magnétiques.

Elle concerne un dispositif comprenant un magnétomètre amélioré ainsi qu'un procédé de
10 réalisation de ce magnétomètre.

Par magnétomètre, on entend tout type de circuit utilisé pour la mesure de champ magnétique ou de variation de champ magnétique tels que par exemple les sondes magnétométriques, les « flux-gate », les
15 micro-fluxgate » ou les « fluxgate intégrés ».

ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

Un magnétomètre comprend généralement un circuit magnétique comportant des connexions et un
20 noyau magnétique par exemple à base d'un matériau amorphe ou d'un alliage magnétique, par exemple en Permalloy. Il comprend généralement en outre un circuit d'excitation comportant de préférence au moins un bobinage d'excitation chargé de l'excitation du circuit
25 magnétique et un circuit de détection comportant au moins un bobinage récepteur ou bobinage de détection chargé de la mesure. Ces éléments fonctionnent en collaboration.

Un circuit magnétique « ouvert » se
30 présente couramment sous forme d'un agencement d'une ou

plusieurs branches ou segments de formes diverses à base de matériau magnétique et comportant des extrémités reliées ou non entre elles.

Les branches du noyau d'un circuit magnétique ouvert sont agencées généralement de manière à ce qu'elles ne réalisent pas de boucle ou de contour fermé. Un noyau magnétique ouvert comporte au moins deux extrémités non connectées entre elles.

Les magnétomètres peuvent s'appliquer au domaine de la microélectronique et être incorporés par exemple dans des circuits intégrés. Ils sont alors fabriqués grâce à des techniques de réalisation en couches minces. Les magnétomètres formés en couches minces peuvent atteindre des tailles d'un ordre inférieur au millimètre, avec des couches minces pouvant être de l'ordre du micromètre. Les magnétomètres trouvent emploi dans des mesures de champs magnétiques pouvant être faibles ou même très faibles. Ils peuvent ainsi servir par exemple à mesurer des variations très faibles du champ magnétique terrestre. Ainsi, certains magnétomètres ont une sensibilité de l'ordre de quelques nanoteslas ou même de l'ordre du picotesla suivant les dimensions du magnétomètre. Par ailleurs, on souhaite continuellement pouvoir augmenter la sensibilité des magnétomètres, mais des phénomènes de bruit non négligeables apparaissent au fur et à mesure que l'ordre de grandeur des mesures de champs magnétiques ou de fluctuations de champs magnétiques diminue.

Lors des mesures de champs magnétiques de de champ faible, le niveau de bruit peut rendre les

mesures très délicates. D'autre part, les phénomènes de bruits sont aléatoires. Ils peuvent provenir par exemple de l'hystérésis relative au matériau magnétique compris dans le noyau magnétique, ou bien du mouvement
 5 imprévisible de domaines magnétiques dans les couches minces.

Pour lutter contre les phénomènes de bruit, une méthode connue de l'art antérieur consiste à appliquer un champ magnétique supplémentaire orthogonal
 10 au champ magnétique mesuré, ce qui permet d'obtenir une meilleure polarisation du circuit magnétique sans influencer sur la mesure effectuée par le circuit de détection. Cette méthode comporte néanmoins plusieurs inconvénients. Elle nécessite en effet d'inclure dans
 15 le magnétomètre un circuit supplémentaire servant à appliquer le champ magnétique supplémentaire. Cela complique l'intégration ainsi que le procédé de réalisation du capteur magnétique.

D'autre part l'ajout du circuit
 20 supplémentaire augmente de façon non négligeable la consommation en courant du magnétomètre, ce qui peut être dommageable lorsqu'on souhaite utiliser les magnétomètres dans des circuits intégrés de tailles très faibles.

25 EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention permet de diminuer les phénomènes de bruit dans les magnétomètres ou capteurs magnétiques à circuits magnétiques « ouverts ». Elle propose un dispositif de magnétomètre
 30 amélioré qui comprend des moyens simples pour lutter contre les phénomènes de bruit, ainsi qu'un procédé

simple de réalisation du magnétomètre. Par rapport à la solution de l'art antérieur présenté plus haut, l'invention, dans sa forme la plus avantageuse est plus simple à réaliser, elle permet par ailleurs un gain de place et induit peu ou pas de consommation de courant supplémentaire.

L'invention concerne donc magnétomètre ou un dispositif de mesure de champ magnétique ou de variation de champ magnétique comprenant :

- 10 - un circuit magnétique ouvert comportant un noyau magnétique doté de plusieurs extrémités libres
- un ou plusieurs bobinages de détection enroulés autour du noyau,
- un ou plusieurs bobinages d'excitation enroulés
- 15 autour du noyau magnétique, un des bobinages d'excitation pouvant dépasser d'au moins une des extrémités du noyau.

Les bobinage d'excitation et de détection peuvent être distincts, ou confondus dans certains cas.

- 20 Le dépassement du bobinage d'excitation d'au moins une des extrémités du noyau permet de limiter les phénomènes de bruit dans le magnétomètre. Les phénomènes de bruit proviennent en partie de zones magnétiques insaturées dans le circuit magnétique.
- 25 Ainsi l'invention permet de mieux saturer certaines ou toutes les extrémités du noyau magnétique. Lorsque ce dépassement s'applique à toutes les extrémités du noyau, on réduit au maximum la présence de zones magnétiques insaturées dans le magnétomètre. Par
- 30 ailleurs l'invention s'applique à un circuit magnétique ouvert, c'est-à-dire que les branches du noyau

magnétique ne réalisent pas de contour fermé ni de boucle mais possèdent au moins deux extrémités libres, c'est-à-dire non connectées.

L'invention peut concerner tous les types
 5 de magnétomètres, de dispositifs de mesure de champ ou de variation de champ magnétique comportant un circuit magnétique ouvert, elle peut s'appliquer par exemple aux magnétomètres à fluxgate ou bien par exemple aux micro-magnétomètre à fluxgate ou encore par exemple aux
 10 magnétomètres à fluxgate « intégrés » c'est-à-dire ceux compris dans un circuit intégré ou dans une puce.

Le magnétomètre suivant l'invention peut comprendre en outre un générateur de courant couplé aux bobinages d'excitation pour fournir le courant
 15 d'excitation, et des moyens de mesure couplés aux bobinages de détection.

Selon une caractéristique particulière du magnétomètre, un des bobinage d'excitation peut comprendre au moins une spire dépassant entièrement
 20 d'au moins une des extrémités du noyau magnétique

Selon une autre caractéristique particulière du magnétomètre suivant l'invention, les bobinage d'excitations peuvent avoir une largeur l_{be} , un des bobinage d'excitation peut alors dépasser d'au
 25 moins d'une des extrémités du noyau magnétique d'une longueur de dépassement D supérieure à $(1/10)l_{be}$. Cette longueur D de dépassement correspond approximativement à la limite de la zone où le champ magnétique reste constant et ne se trouve pas diminué par des effets de
 30 bord. Fixer une longueur de dépassement D supérieure à



(1/10) l_{be} permet de limiter davantage les instabilités provenant du noyau magnétique.

Pour saturer de façon complète le noyau magnétique, il peut s'avérer utile que les bobinages d'excitations enroulés autour du noyau recouvrent ce dernier complètement et aient une longueur totale cumulée supérieure à la longueur totale cumulée des longueurs des branches du noyau. Ainsi, selon une caractéristique particulière de l'invention, le noyau magnétique a une longueur totale $L_{noy\text{tot}}$, correspondant à la somme de toutes les longueurs des branches du noyau, et les bobinages d'excitation ont une longueur totale L_{betot} , correspondant à la somme des longueurs de l'ensemble des bobinages d'excitation, L_{betot} pouvant être supérieure à $L_{noy\text{tot}}$.

Selon une autre caractéristique particulière du magnétomètre suivant l'invention, les bobinages d'excitation et les bobinages de détection peuvent être au moins partiellement entrelacés. Cette configuration n'est pas obligatoire mais peut permettre un gain de place dans le magnétomètre. Les bobinages de détection et d'excitation sont généralement entrelacés sauf aux extrémités et au-delà des extrémités du noyau magnétique. Les bobinages d'excitation et de détection peuvent aussi être juxtaposés autour du noyau.

Selon une autre caractéristique particulière du magnétomètre suivant l'invention, celui-ci peut comprendre en outre un circuit de compensation apte à appliquer un champ magnétique compensant un champ magnétique, par exemple continu ou basse fréquence, à mesurer.

Le circuit de compensation peut être formé de connexions et de bobinages de compensation aussi appelés bobinages de réaction enroulés autour du noyau magnétique. Ces bobinages de compensation peuvent
5 permettre d'appliquer un champ magnétique compensant un champ magnétique continu ou basse fréquence à mesurer.

Les bobinages de compensation peuvent être distincts ou confondus avec les bobinages de détection.

Selon une caractéristique particulière de
10 l'invention, le magnétomètre peut être formé d'un empilement de couches minces.

Un magnétomètre réalisé en couche mince peut être alors intégré dans des puces ou dispositifs microélectroniques. Un magnétomètre de taille d'ordre
15 inférieure au micromètre peut s'appliquer à de nombreux domaines de l'industrie et par exemple trouver des applications dans le domaine aérospatial ou médical.

L'invention concerne enfin un procédé de réalisation du magnétomètre suivant l'invention et
20 comprenant: la formation un noyau magnétique doté d'au moins deux extrémités libres, ainsi que la formation d'un ou plusieurs bobinages de détection enroulés autour du noyau ainsi qu'un ou plusieurs bobinages d'excitation enroulés autour du noyau magnétique, un
25 des bobinages d'excitation dépassant d'au moins une des extrémités du noyau.

Le procédé suivant l'invention peut comprendre une première sous étape consistant à former des portions inférieures desdits bobinages de détection
30 et d'excitation préalablement à l'étape de formation du noyau, ainsi qu'une seconde sous étape consistant à

former des portions supérieures desdits bobinages de détection et d'excitation après l'étape de formation du noyau.

La seconde sous étape peut être réalisée après une étape de formation de raccords verticaux servant à relier les portions inférieures et supérieures desdits bobinages de détection et d'excitation.

L'étape de formation du noyau peut être réalisée sur une couche diélectrique. Selon une caractéristique particulière du procédé suivant l'invention une planarisation de ladite couche diélectrique est effectuée préalablement à l'étape de formation du noyau. Cette étape de planarisation, préalable à la formation du noyau, peut permettre d'obtenir un noyau magnétique plane, donc moins susceptible d'être la source de phénomènes de bruit.

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés, à titre purement indicatif et nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels:

les figures 1 à 3 représentent différentes variantes de magnétomètre ou dispositif de mesure de champ magnétique selon l'invention;

la figure 4 représente une vue en coupe d'une partie de l'exemple de magnétomètre suivant l'invention illustré sur la figure 1. La coupe est réalisée selon un axe x'x représenté sur la figure 1

les figures 5A-5G représentent différentes étapes d'un exemple de procédé de réalisation d'un magnétomètre suivant l'invention;

Des parties identiques, similaires ou
5 équivalentes des différentes figures portent les mêmes références numériques de façon à faciliter le passage d'une figure à l'autre.

Les différentes parties représentées sur les figures ne le sont pas nécessairement selon une
10 échelle uniforme, pour rendre les figures plus lisibles.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

La figure 1 représente un exemple de
15 magnétomètre ou capteur magnétique suivant l'invention. Le magnétomètre de l'invention peut être par exemple de type magnétomètre à fluxgate, de type magnétomètre à microfluxgate ou bien il peut être un magnétomètre à fluxgate intégré, c'est-à-dire un magnétomètre à
20 fluxgate compris dans un dispositif microélectronique tel qu'un MEMS (MEMS pour micro système électro-mécanique) ou une puce.

Le magnétomètre comprend un circuit magnétique comportant des connexions 104 et un noyau
25 magnétique 101 qui se présente, dans cet exemple, sous forme de deux branches 102 et 103 rectilignes sensiblement rectangulaires et parallèles entre elles.

L'invention s'applique à des noyaux magnétiques ayant d'autres formes et pouvant comprendre
30 une ou plusieurs branches agencées différemment des branches 102 et 103 illustrées sur la figure 1.



Cependant, l'invention concerne un circuit magnétique « ouvert », dont les branches ne réalisent pas de boucle ou de contour fermé. Ainsi, le noyau magnétique 101 possède plusieurs extrémités libres, c'est-à-dire non connectées, et notées 102a, 103a sur la figure 1.

Le noyau magnétique 101 peut être réalisé à base de tout type de matériau magnétique tel qu'un matériau magnétique amorphe, un matériau magnétique doux, un alliage tel que par exemple un alliage à base de fer et de nickel, ou bien un alliage à base de fer et de cobalt, ou bien un alliage à base de fer de nickel et d'indium. Par ailleurs, le noyau magnétique 101 peut être réalisé par un empilement de plusieurs couches de matériaux différents.

Le magnétomètre comprend également un circuit d'excitation comportant des connexions notées 123, ainsi qu'un premier bobinage d'excitation et un second bobinage d'excitation notés respectivement 121 et 122 et enroulés respectivement autour des branches 102 et 103 du noyau 101 du circuit magnétique. Les bobinages d'excitation 121 et 122 sont agencés de manière à créer un champ magnétique d'excitation dans le noyau magnétique 101.

Les bobinages d'excitation 121, 122 ont chacun une largeur l_{be} et une longueur L_{be} . Ils entourent le noyau magnétique sur toute sa longueur de sorte que plusieurs spires S des bobinages d'excitation dépassent des extrémités libres 102a, 103a, du noyau 101.

Le fait qu'au moins une des extrémités 102a ou 103a du noyau magnétique 101 se retrouve

complètement à l'intérieur d'un des bobinages d'excitation 121 ou 122 permet d'assurer une meilleure saturation du noyau magnétique 101.

5 Le bobinage d'excitation 121 peut dépasser des extrémités du noyau 101 d'une longueur de dépassement notée D et supérieure à $(1/10)l_{be}$. Ainsi, le noyau magnétique 101 saturé jusque dans ses extrémités se trouve dans une zone de champ magnétique constant.

10 Le noyau magnétique 101 a une longueur totale L_{noytot} égale à la longueur cumulée de ses branches 102 et 103. Les bobinages d'excitation 121 et 122 ont chacun une longueur L_{be} , ce qui implique une longueur cumulée des bobinages d'excitation L_{betot} égale à $2L_{be}$.

15 Selon une caractéristique particulière de l'invention, L_{betot} peut être supérieur à L_{noytot} , c'est-à-dire que le bobinage peut recouvrir le noyau 101 dans sa totalité et peut dépasser ainsi de toutes les extrémités du noyau 101. Ainsi, toutes les extrémités
20 du noyau 101 sont mieux saturées et les phénomènes de bruit pouvant provenir de certaines zones insaturées du noyau sont atténués.

Le magnétomètre suivant l'invention comprend également un circuit de détection comportant
25 des connexions notées 113 ainsi qu'un premier et un second bobinage de détection notés respectivement 111 et 112 et enroulés chacun autour d'une partie des branches 102 et 103 du noyau 101 du circuit magnétique.

Le premier et second bobinage de détection
30 111 et 112 sont dans cet exemple entrelacés

respectivement avec le premier et second bobinages de d'excitation 121 et 122.

Il faut noter que le nombre de bobinage de détection et d'excitation du magnétomètre suivant l'invention, ainsi que l'agencement des bobinages de détection 111 et 112 ne sont nullement limités à ce qui est illustré à la figure 1. Ainsi l'invention peut comporter un ou plusieurs bobinages d'excitation, un ou plusieurs bobinages de détection entrelacés ou non avec les bobinages de détection.

D'autre part, le nombre de spires des bobinages de détection 111, 112 et des bobinages d'excitation 121, 122, ainsi que la densité d'enroulement (nombre de spires sur une unité de longueur) ne sont pas représentés à l'échelle sur la figure 1, des densités d'enroulement et des nombres de spires autres étant possibles.

La figure 2 présente un second exemple de magnétomètre suivant l'invention qui diffère de l'exemple illustré par la figure 1 en ce que le magnétomètre comprend en outre un circuit de compensation, comportant des connexions notées 133 ainsi que deux bobinages de réaction ou bobinages de compensation 131 et 132 enroulés respectivement autour des branches 102 et 103 du noyau. Les bobinages de compensation 131 et 132 peuvent être entrelacés avec les bobinages d'excitation 121 et 122. Ces bobinages de réaction 131 et 132 peuvent permettre d'appliquer un champ magnétique compensant un champ magnétique continu ou basse fréquence à mesurer.

Lorsque le magnétomètre ne comporte pas de bobinage de réaction, les bobinages de détection 111 et 112 peuvent jouer le rôle des bobinages de compensation 131 et 132.

5 La figure 3 présente un autre exemple de magnétomètre suivant l'invention qui diffère de l'exemple de la figure 1 en ce que le circuit d'excitation comprend en outre un générateur de courant alternatif 125 relié par l'intermédiaire de connexions 10 123 aux bobinages d'excitation 121 et 122. Le circuit de détection comprend en outre un moyen de mesure 115 relié par l'intermédiaire de connexions 113 aux bobinages de détection 111 et 112.

15 Le magnétomètre suivant l'invention peut être réalisé en couches minces. La figure 4 représente une vue en coupe selon l'axe $x'x$ d'une partie du magnétomètre illustré sur la figure 1.

Le magnétomètre est réalisé par un empilement de couches minces. Une couche isolante 20 inférieure 401 par exemple à base d'un matériau isolant tel que du SiO_2 ou bien tel qu'un polymère photosensible d'épaisseur par exemple comprise entre 1 et 10 micromètres, par exemple égale 5 micromètres repose sur un substrat 400 par exemple à base de 25 silicium. La couche isolante inférieure 401 comporte des portions inférieures 402 de bobinages d'excitation 121 et de bobinages de détection 111. Ces portions inférieures 402 de bobinages se présentent sous forme de lignes conductrices s'étendant dans une direction 30 sensiblement orthogonale à $x'x$ et parallèle à un plan principal du substrat. Les portions inférieures 402 de



bobinages ont par ailleurs une forme rectangulaire dans cet exemple. En outre, les portions inférieures 402 de bobinages peuvent être réalisées à base de matériaux métalliques par exemple tels que du cuivre, de l'aluminium, de l'or...

Sur la couche isolante inférieure 401 repose une première couche diélectrique 403, par exemple à base de SiO_2 d'épaisseur située par exemple entre 1 et 10 micromètres, par exemple égale à 3 micromètres. Cette première couche diélectrique 403 s'intercale entre les portions inférieures 402 des bobinages 121 et 111 situés au dessous d'elle et un noyau magnétique 101 contenu dans une couche 404 diélectrique située au dessus d'elle. Ainsi, le noyau magnétique 101 et les portions inférieures 402 des bobinages sont isolés. Le noyau magnétique 101 s'étend dans une direction parallèle à l'axe $x'x$ sur une longueur notée L_{noy} . Il peut être formé à base d'un matériau magnétique tel qu'un matériau magnétique doux, un matériau magnétique amorphe, ou bien un alliage tel que par exemple un alliage à base de fer et de nickel. Le noyau peut être formé en une seule couche ou par un empilement de plusieurs couches de matériaux différents et avoir une épaisseur comprise par exemple entre 500 nanomètres et 5 micromètres par exemple proche de 1 micromètre.

Sur la couche 404 contenant le noyau 101 se trouve une seconde couche diélectrique 405 par exemple à base de SiO_2 et d'épaisseur située entre 1 et 10 micromètres, par exemple égale à 3 micromètres.

La seconde couche diélectrique 405 sert d'isolation entre le noyau 101 situé au dessous d'elle et des portions supérieures 407 des bobinages 111 et 121 situées au dessus d'elle insérées dans une couche
5 406 située sur la seconde couche diélectrique 405.

Ces portions supérieures 407 de bobinages se présentent sous forme de lignes conductrices s'étendant dans une direction orthogonale à $x'x$ et parallèles à un plan principal du substrat. Les
10 portions supérieures 407 de bobinages ont une forme rectangulaire. Les portions supérieures 407 de bobinages peuvent être réalisées à base de matériaux métalliques par exemple tels que du cuivre, de l'aluminium, de l'or...

15 Les couches 403, 404, 405, sont percées de manière à recevoir des raccordements verticaux 408 par exemple à base de métal joignant les portions inférieures 402 et les portions supérieures 407 des bobinages 111 et 121.

20 Les portions inférieures 402 et supérieures 407 des bobinages 111 et 121 reliées par les raccordements verticaux 408 produisent des spires de forme rectangulaires.

Le bobinage d'excitation 121 s'étend dans
25 direction parallèle à celle du noyau 101 sur une longueur L_{be} supérieure à la longueur L_{noy} du noyau

Ainsi, le bobinage d'excitation 121 est enroulé autour du noyau 101 et recouvre la totalité de ce dernier. De plus, le bobinage d'excitation 121
30 dépasse des extrémités 102a du noyau 101 d'une longueur de dépassement D pour une extrémité et d'une longueur

de dépassement D' différente de D pour l'autre extrémité. Cette configuration où le bobinage d'excitation 121 dépasse des extrémités du noyau 101 permet d'améliorer la saturation du circuit magnétique et de limiter ainsi les phénomènes de bruit dans le magnétomètre.

Des plots de connexion 409 par exemple à base d'un matériau métallique sont également insérés dans la couche 406 et servent par exemple au passage de courant depuis des circuits extérieurs vers les différents bobinages ou depuis les différents bobinages vers des circuits extérieurs.

Le dispositif représenté à la figure 4 peut être obtenu par un procédé de fabrication dont un exemple est illustré par les figures 5A à 5H.

La première étape de ce procédé consiste à former la couche isolante inférieure 401 par exemple d'épaisseur comprise entre 2 et 5 micromètres, par exemple par dépôt chimique en phase vapeur d'un matériau isolant ou bien par croissance d'oxyde tel que du SiO_2 sur le substrat 400. Ensuite, on réalise dans la couche isolante 401 plusieurs tranchées 500 juxtaposées et s'étendant dans une direction parallèle à un plan principal du substrat 400 et orthogonale à l'axe $x'x$ (figure 5A). Les tranchées 500 peuvent avoir par exemple une profondeur comprise entre 1 et 3 micromètres. Elles peuvent être réalisées par des méthodes classiques de photolithographie puis de gravure de la couche isolante 401.

On effectue ensuite un remplissage des tranchées par un matériau conducteur 501 par exemple à

base de cuivre de sorte que le matériau conducteur comble les tranchées 500 et qu'une épaisseur 502 du matériau conducteur dépasse de la surface de la couche isolante 401. Le remplissage peut se faire par exemple
5 par électrolyse de cuivre ou par dépôt tel qu'un dépôt chimique en phase vapeur (figure 5B).

Ensuite, on effectue le polissage de la l'épaisseur 502 du matériau conducteur 501 jusqu'à atteindre la surface de la couche isolante 401, par
10 exemple par méthode CMP (CMP pour « polissage mécanico-chimique »). Les tranchées 500 remplies par le matériau conducteur 501 par exemple à base de cuivre forment les portions inférieures 402 des bobinages 111 et 121 illustrés précédemment à la figure 4.

Ensuite, on effectue un dépôt d'épaisseur située entre 1 et 8 micromètres, par exemple par méthode de dépôt chimique en phase vapeur de la première couche diélectrique 403, réalisée par exemple à base de SiO_2 . On peut alors procéder à un polissage
15 tel qu'un polissage mécanico-chimique (CMP) de la première couche diélectrique 403.

Ensuite, on forme le noyau magnétique 101 sur la première couche diélectrique 403 par exemple par un procédé de dépôt chimique en phase vapeur ou par
25 pulvérisation cathodique d'une couche ou d'un empilement 503 de plusieurs couches à base de matériau magnétique. La couche ou l'empilement 503 a une épaisseur située par exemple entre 100 nanomètres et 5 micromètres, par exemple égale à 1 micromètre. La
30 couche 503 peut être réalisée à base d'un matériau magnétique tel qu'un matériau magnétique doux, ou bien



un matériau magnétique amorphe. Elle peut comprendre un alliage tel que par exemple un alliage à base de fer et de nickel ou alliage « permalloy », ou bien un alliage à base de fer et de cobalt, ou bien un alliage à base de fer de nickel et d'indium. La couche 503 peut comprendre tout type de matériau pouvant former un noyau magnétique. Elle est de préférence la plus plane possible, car la non planéité du noyau magnétique peut induire du bruit magnétique supplémentaire dans le magnétomètre. Ainsi, la planéité de la couche 503 peut être assurée au moins en partie par l'étape de planarisation de la couche diélectrique 403 évoquée et décrite plus haut. La couche 503 est ensuite gravée afin de former le noyau magnétique 101 sous forme de branches de longueur L_{noy} s'étendant dans une direction parallèle à l'axe $x'x$. Une seconde couche diélectrique 405 par exemple d'épaisseur située entre 1 et 5 micromètres, par exemple égale à 2 micromètres est ensuite déposée sur le noyau magnétique 101 et recouvre ce dernier. Dans cet exemple de réalisation, le noyau 101 est intégré dans la couche 405. Le diélectrique 404 de la figure 4 correspond alors dans cet exemple particulier à une partie de la couche 405.

On réalise alors des orifices verticaux 504 par exemple par gravure de la seconde couche diélectrique 405 contenant le noyau 101 et de la première couche diélectrique 403. Les orifices verticaux 504 atteignent les portions inférieures 402 des bobinages (figure 5D).

Ces orifices verticaux 504 sont ensuite remplis par électrolyse ou par dépôt d'un matériau

conducteur 505 par exemple à base de cuivre, d'aluminium, etc. Les orifices verticaux 504 remplis forment les raccords métalliques verticaux 408 orthogonaux aux portions inférieures 402 des bobinages et au noyau magnétique 101. Après formation des raccords 408, on effectue le dépôt d'une épaisseur de matériau métallique 506 comprise par exemple entre 1 micromètre et 5 micromètres et à base de cuivre, ou bien d'or ou bien d'aluminium. Selon une variante l'épaisseur de matériau métallique 506 est obtenue par prolongement de l'étape d'électrolyse ou de dépôt du matériau conducteur 505 servant à remplir les orifices verticaux 504 (figure 5E).

On réalise ensuite les portions supérieures 407 des bobinages, par gravure du matériau métallique de sorte que les portions supérieures de bobinages soient reliées par le raccordement vertical 408 aux portions inférieures 402 pour former des spires s de bobinages (figure 5F). Parmi les bobinages ainsi formés, le bobinage d'excitation noté 121 est enroulé autour du noyau 101, de sorte qu'il entoure et dépasse des extrémités notées 102a du noyau 101 d'une longueur de dépassement D.

Enfin, on réalise la couche 406 par exemple par dépôt d'un matériau isolant 505 enrobant les portions supérieures 407 de bobinages. Cette couche 406 est alors ajourée pour y insérer des plots de connexion 409.

REVENDICATIONS

1. Magnétomètre comprenant :

- un circuit magnétique ouvert comportant au moins un
5 noyau magnétique (101) doté d'au moins deux extrémités
libres (102a, 102b, 103a, 103b),
- un ou plusieurs bobinages de détection (111,112)
enroulés autour du noyau (101),
- un ou plusieurs bobinages d'excitation (121,122)
10 enroulés autour du noyau magnétique, au moins un des
bobinages d'excitation (121,122) dépassant d'au moins
une des extrémités libres (102a, 102b, 103a, 103b) du
noyau (101).

- 15 2. Magnétomètre selon la revendication 1,
un des bobinage d'excitation (121,122) comprenant au
moins une spire dépassant entièrement d'au moins une
des extrémités libres (102a, 102b, 103a, 103b) du noyau
magnétique (101).

20

3. Magnétomètre selon l'une des
revendications 1 ou 2 dans lequel les bobinages
d'excitations (121,122) ont une largeur l_{be} , au moins un
des bobinage d'excitation (121,122) dépassant d'au
25 moins une des extrémités libres (102a, 102b, 103a,
103b) du noyau magnétique (101) d'une longueur de
dépasement D supérieure à $(1/10)l_{be}$.

4. Magnétomètre selon l'une des
30 revendications 1 à 3 dans lequel le noyau magnétique
(101) a une longueur totale $L_{noy\text{tot}}$ et les bobinages

d'excitation (121,122) ont une longueur totale L_{betot} , L_{betot} étant supérieure à L_{noytot} .

5. Magnétomètre selon l'une des
5 revendications 1 à 4, les bobinages d'excitation (121,122) et les bobinage de détection (111,112) étant entrelacés.

6. Magnétomètre selon l'une des
10 revendications 1 à 5, le magnétomètre comprenant en outre un circuit de compensation apte à appliquer un champ magnétique compensant un champ magnétique à mesurer.

7. Magnétomètre selon l'une des
15 revendications 1 à 6, le magnétomètre comprenant en outre un générateur de courant couplé au(x) bobinage(s) d'excitation, et des moyens de mesure couplés au(x) bobinage(s) de détection.

8. Magnétomètre selon l'une des
20 revendications 1 à 7, le magnétomètre étant un magnétomètre à fluxgate ou un micro-magnétomètre à fluxgate ou un magnétomètre à fluxgate intégré.

9. Magnétomètre selon l'une des
25 revendications 1 à 8, le magnétomètre étant formé d'un empilement de couches minces.

10. Procédé de réalisation d'un
30 magnétomètre comprenant:

la formation d'un noyau magnétique (101) doté d'au moins deux extrémités libres (102a), et la formation d'un ou plusieurs bobinages de détection enroulés autour du noyau ainsi qu'un ou plusieurs bobinages d'excitation enroulés autour du noyau magnétique, au moins un des bobinages d'excitation dépassant d'au moins une des extrémités libres du noyau.

11. Procédé de réalisation d'un magnétomètre suivant la revendication 10, comprenant une première sous étape, réalisée préalablement à la formation du noyau magnétique (101), consistant à former des portions inférieures (402) desdits bobinages de détection et d'excitation.

12. Procédé de réalisation d'un magnétomètre suivant la revendication 11, comprenant une seconde sous étape, réalisée après la formation du noyau, consistant à former des portions supérieures (407) desdits bobinages de détection et d'excitation.

13. Procédé de réalisation d'un magnétomètre suivant la revendication 12, la seconde sous étape étant réalisée après une étape de formation de raccords verticaux (408) servant à relier les portions inférieures (402) et supérieures (407) desdits bobinages de détection et d'excitation.

14. Procédé de réalisation d'un magnétomètre suivant l'une des revendications 10 à 13, dans lequel l'étape de formation du noyau (101) est

réalisée sur une couche diélectrique (403), une étape de planarisation de ladite couche diélectrique (403) étant effectuée avant la formation du noyau magnétique.



1 / 7

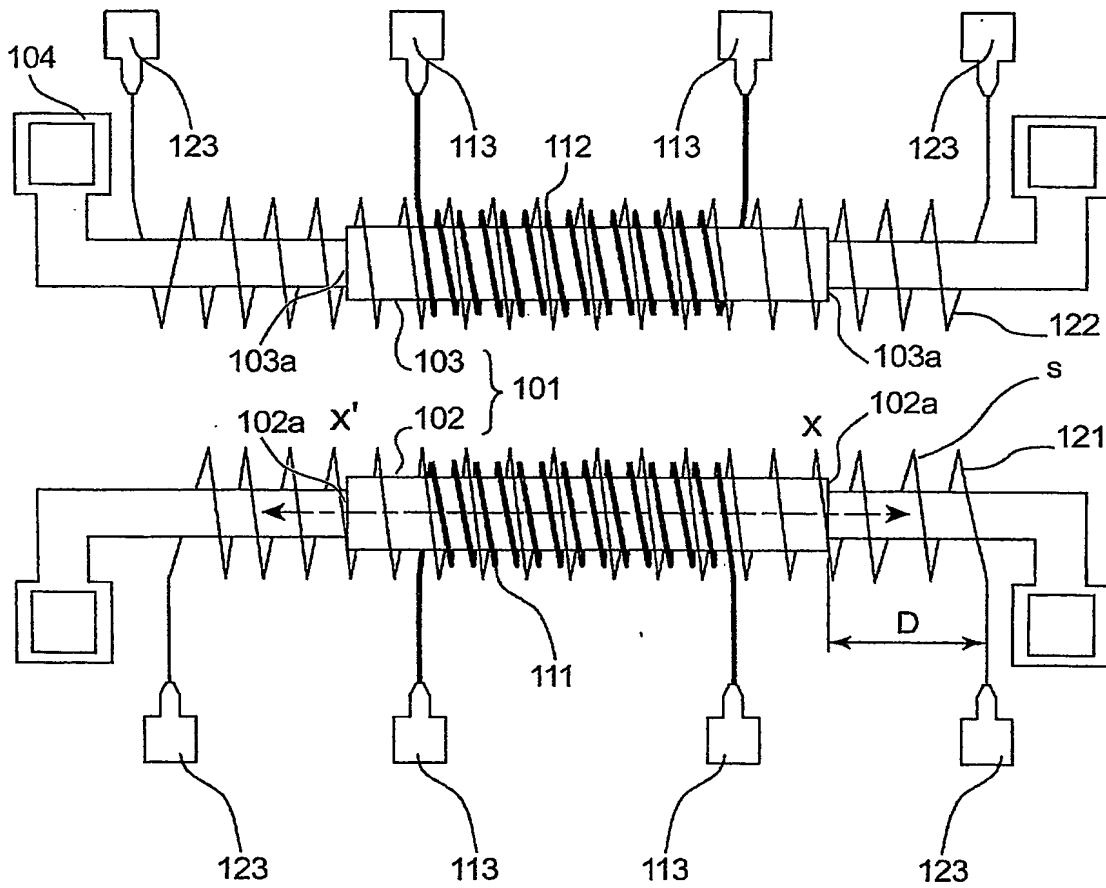


FIG. 1



FIG. 2



3 / 7

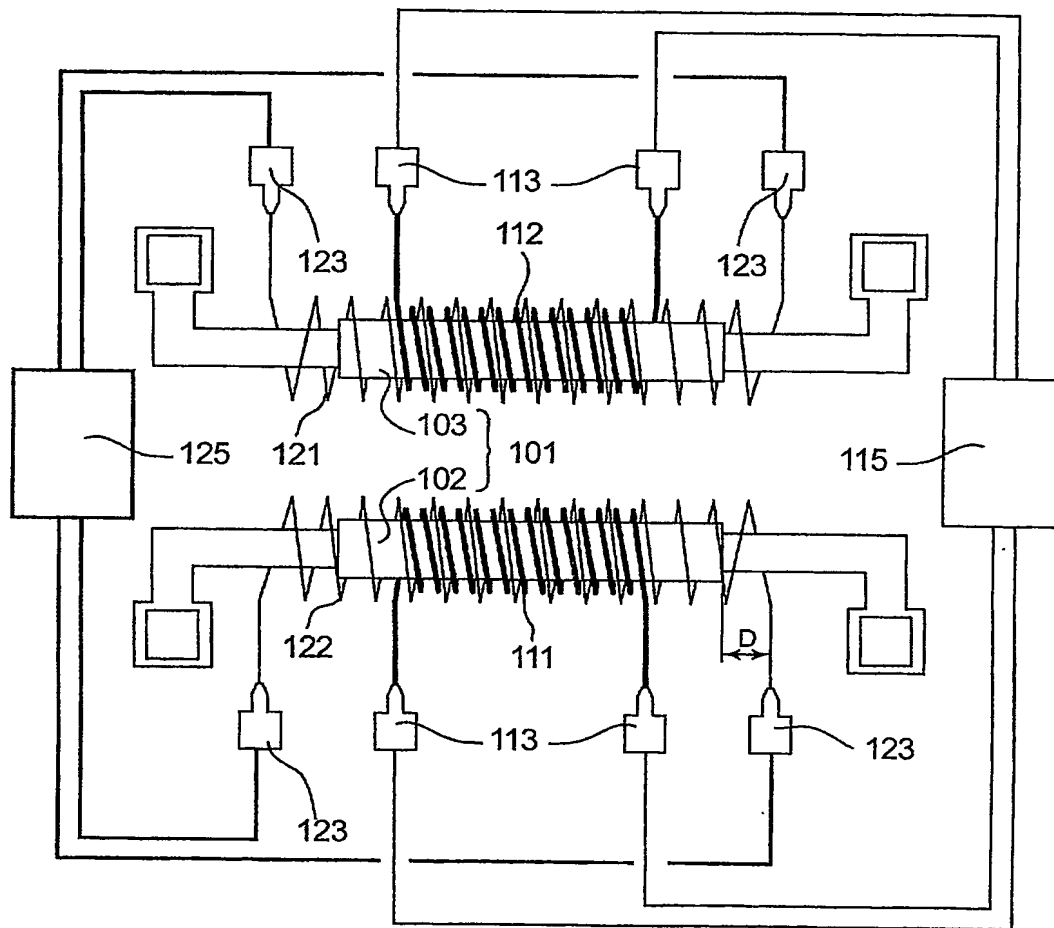


FIG. 3

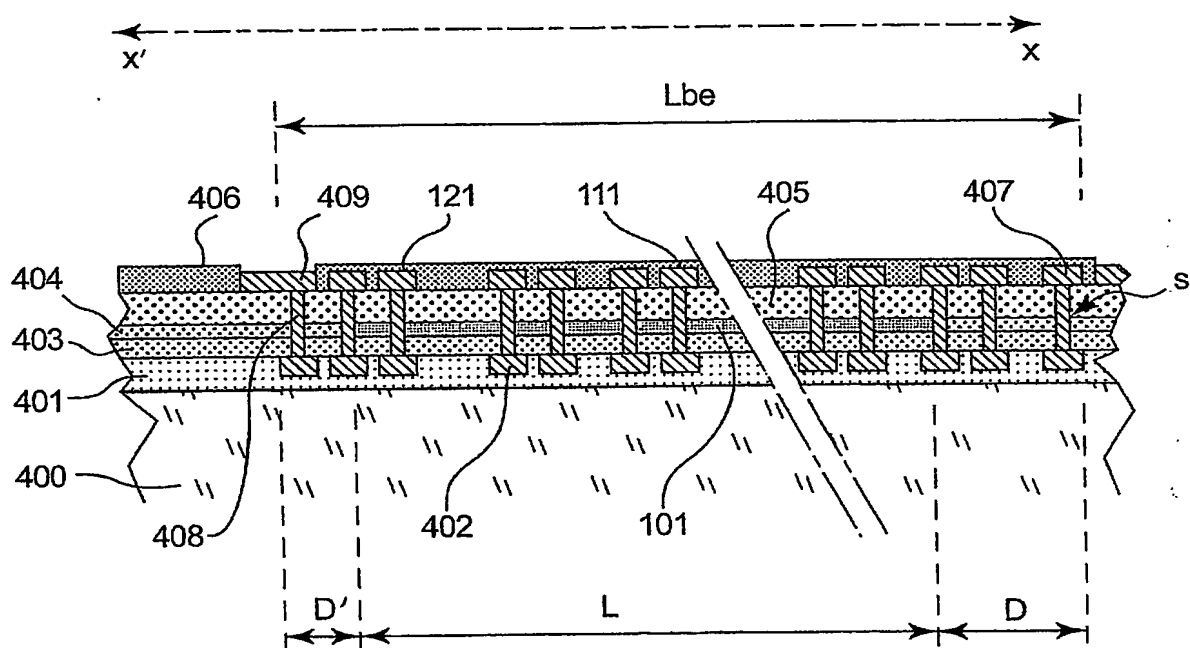


FIG. 4



5 / 7

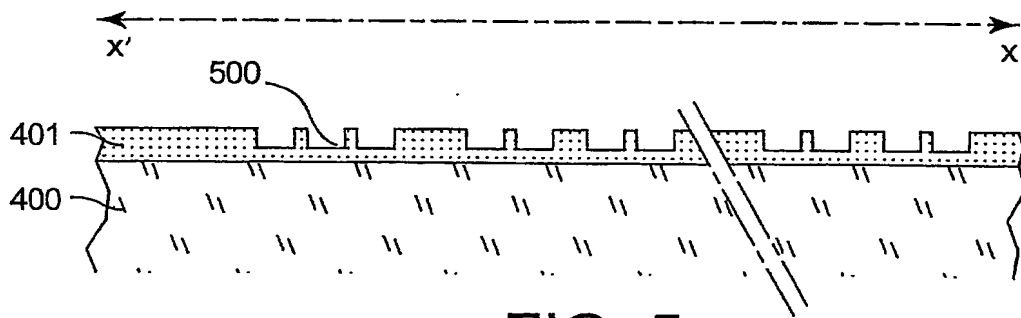


FIG. 5a

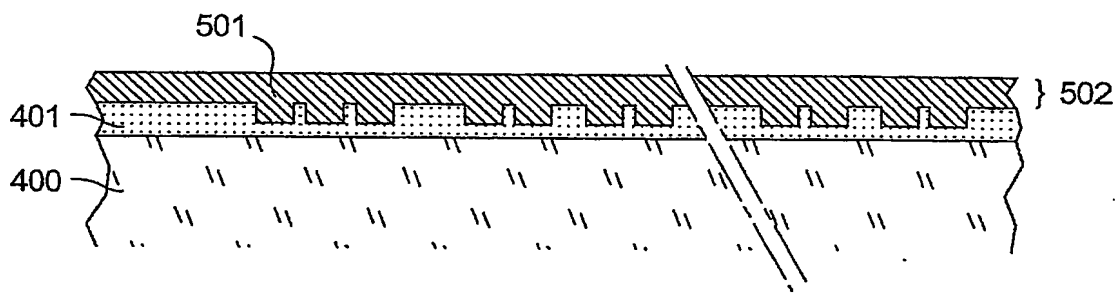


FIG. 5b

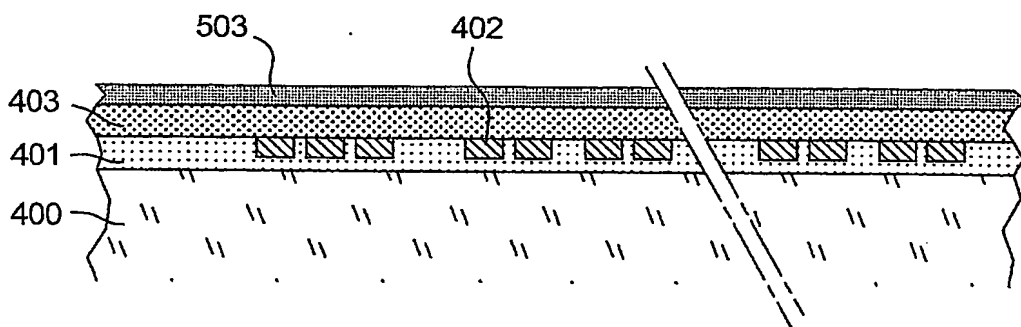


FIG. 5c

6 / 7

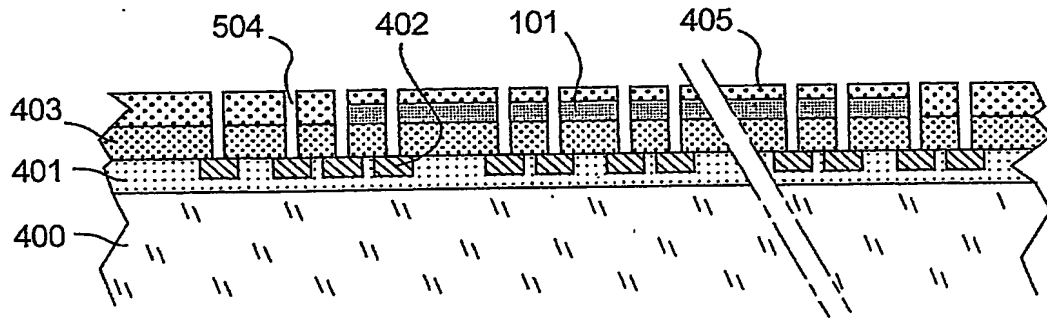


FIG. 5d

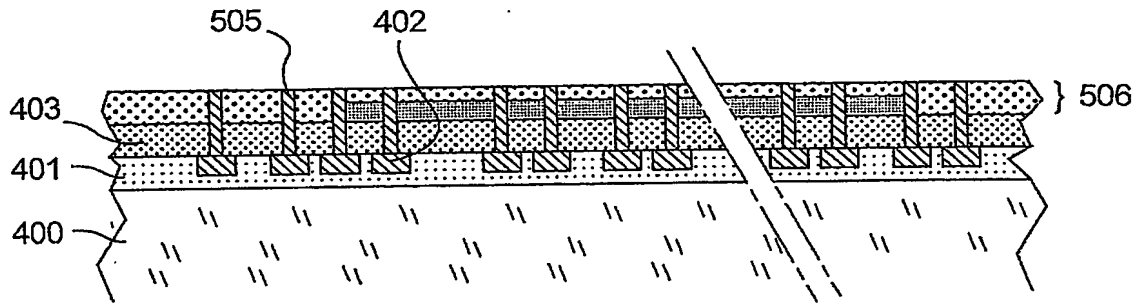


FIG. 5e

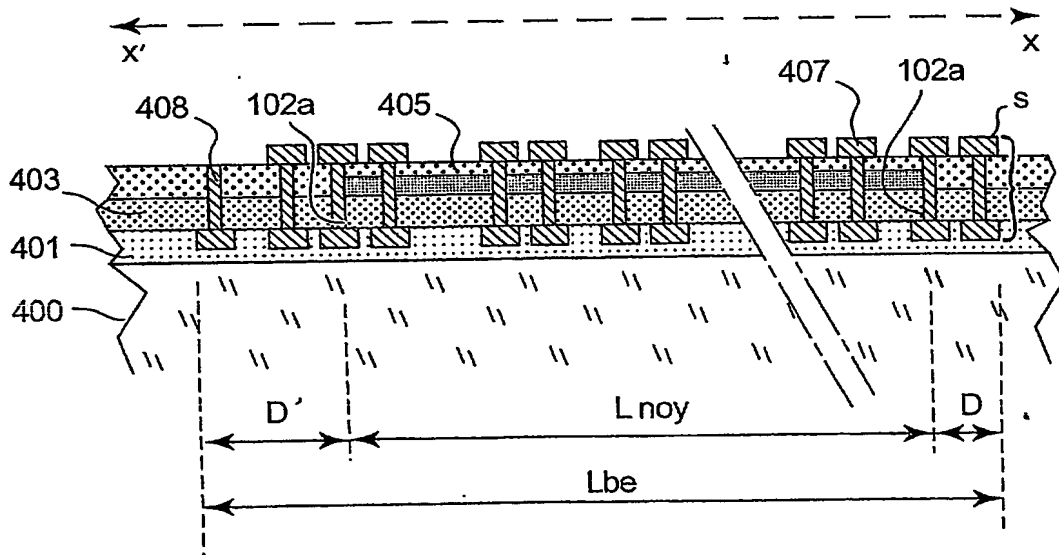


FIG. 5f

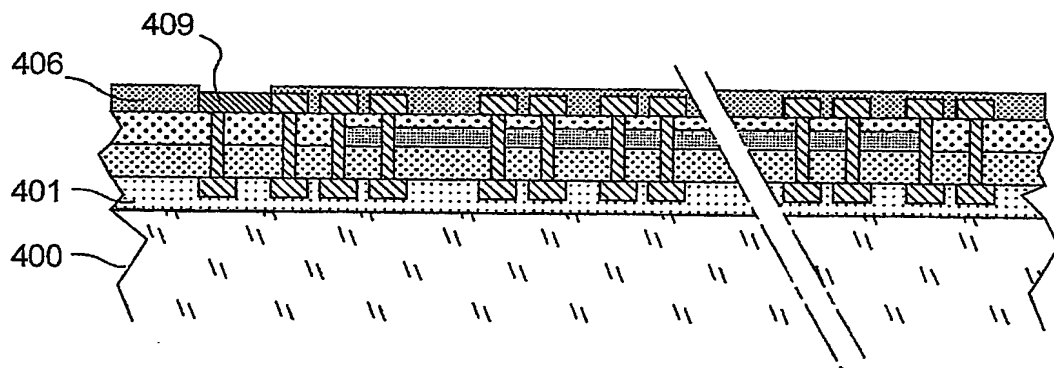


FIG. 5g



DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

BREVET D'INVENTION
CERTIFICAT D'UTILITÉ
Code de la propriété Intellectuelle - Livre VI

cerfa
N° 11235*03

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1../1..

(À fournir dans le cas où les demandeurs et les inventeurs ne sont pas les mêmes personnes)



Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

09 113 @ W / 270501

Vos références pour ce dossier (*facultatif*)

B 14367.3/ALP

N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL

03.11681DU 06.10.2003

TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)

MAGNETOMETRE A CIRCUIT MAGNETIQUE OUVERT ET SON PROCEDE DE REALISATION.

LE(S) DEMANDEUR(S) :

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE
31-33 rue de la Fédération
75752 PARIS 15 ème.

DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :

1	Nom	JOISTEN	
	Prénoms	Hélène	
Adresse	Rue	2 chemin Montrigaud	
	Code postal et ville	3 8 0 0 0 GRENOBLE	
Société d'appartenance (<i>facultatif</i>)			
2	Nom	CUCHET	
	Prénoms	Robert	
Adresse	Rue	2 rue Vergniaud	
	Code postal et ville	3 8 0 0 0 GRENOBLE	
Société d'appartenance (<i>facultatif</i>)			
3	Nom		
	Prénoms		
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (<i>facultatif</i>)			

S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez plusieurs formulaires. Indiquez en haut à droite le N° de la page suivi du nombre de pages.

DATE ET SIGNATURE(S)
DU (DES) DEMANDEUR(S)
OU DU-MANDATAIRE
(Nom et qualité du signataire)

PARIS LE 09 OCTOBRE 2003
J. LEHU



PCT/FR2004/050484



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.